4Ш

УДК 004.896

А.Н. Шушура, И.А. Тарасова, Ю.С. Лапшин
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта,
г. Донецк, Украина

Нечеткое управление процессом регенерации ионообменной смолы в промышленных установках умягчения воды

В статье рассмотрена проблема нечеткого управления процессом регенерации ионообменной смолы в промышленных установках умягчения воды. Приведено исследование технологии и особенностей процесса, разработана модель системы нечеткого управления процессом, проведен численный анализ разработанной модели.

Введение

В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в технологических процессах производства. Избыток солей жесткости приводит к зарастанию нагревательных элементов и отложению на них карбонатов. По нормам ВОЗ оптимальной жесткостью питьевой воды считается 1 – 2 мг-экв/л. Средняя жесткость воды для Донецка и Донецкой области приблизительно равна 8 мг-экв/л., поэтому для отечественных предприятий актуальна очистка воды от солей жесткости, или, другими словами, умягчение воды.

Наиболее простой и экономичный способ очистки от солей жесткости – ионный обмен. Производительность установок определяется их размером и содержанием ионообменной смолы. Самыми распространенными среди них являются установки VAT 5400/3900/1800/3, которые могут применяться как в небольших системах водоподготовки (малые производства), так и в крупных производственных комплексах очистки сточных вод, водоподготовки. В качестве регенерирующего агента используют 6 – 12 % раствор хлорида натрия. При проведении регенерации противотоком значительно улучшается качество регенерации. Регенерация может производиться по истечении заданного периода времени или после пропуска определенного количества очищенной воды.

Умягчение воды на установках осуществляется методом натрий-катионирования. При фильтровании исходной воды через слой ионообменной смолы происходит замещение ионов Ca и Mg на ионы Na. Для загрузки в корпуса фильтров используются импортные сильнокислотные катионообменные смолы в Na-форме.

Постановка задачи

В ходе регенерации важно следить за тем, чтобы в солевых баках всегда присутствовал заметный избыток нерастворенной соли, что гарантирует получение насыщенного рассола для полной регенерации ионообменной смолы. В обязанности обслуживающего персонала входит слежение за наличием достаточного количества соли в баке солерастворения. Поскольку выражение «достаточное количество соли» не имеет четкого количественного значения, то для описания задачи управления целесообразно применить аппарат нечеткой логики.

В данной работе решаются следующие задачи:
- разработка модели нечеткого управления процессом регенерации ионообменной смолы в промышленных установках умягчения воды;
- формирование базы правил системы нечеткого вывода;
- выбор и реализация алгоритма нечеткого вывода;
- численный анализ модели нечеткого управления.

Разработка модели нечеткого управления процессом регенерации ионообменной смолы в промышленных условиях

С целью автоматизации процесса очистки и смягчения воды, необходимо внести изменения в структуру системы управления установкой, введя блок нечеткого регулирования рис. 1.

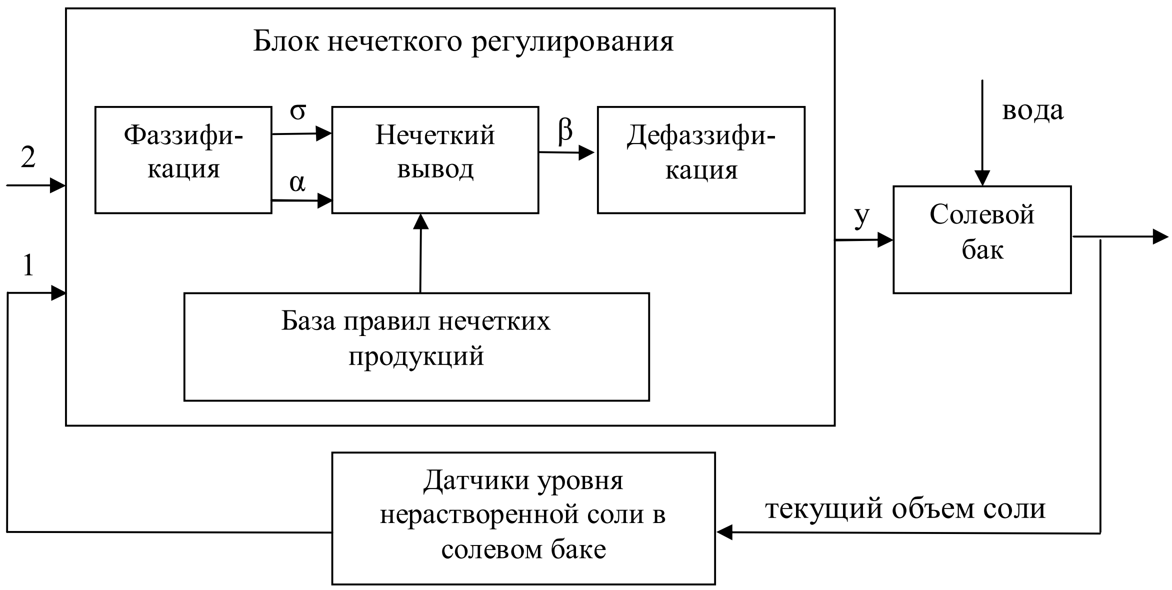


Рисунок 1 – Модель процесса нечеткого управления

В качестве входных переменных (рис. 1) используются:
- уровень нерастворенной соли в баке солерастворения (1), который на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную α, терм-множество которой T_1 ={«очень низкий», «значительно низкий», «низкий», «недостаточный», «достаточный»} с функциями принадлежности, изображенными на рис. 2а;
- жесткость воды в магистральном трубопроводе (2), которая на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную σ, терм-множество которой T_2 ={«максимальная», «нормальная», «минимальная»} с функциями принадлежности, изображенными на рис. 2б.

В блоке нечеткого регулирования проводится обработка входных переменных, результатом которой является переменная β – «количество засыпаемой соли», терм-множество которой T_3={«очень большое», «большое», «небольшое», «малое», «соль не засыпается»} с функциями принадлежности, изображенными на рис. 3.

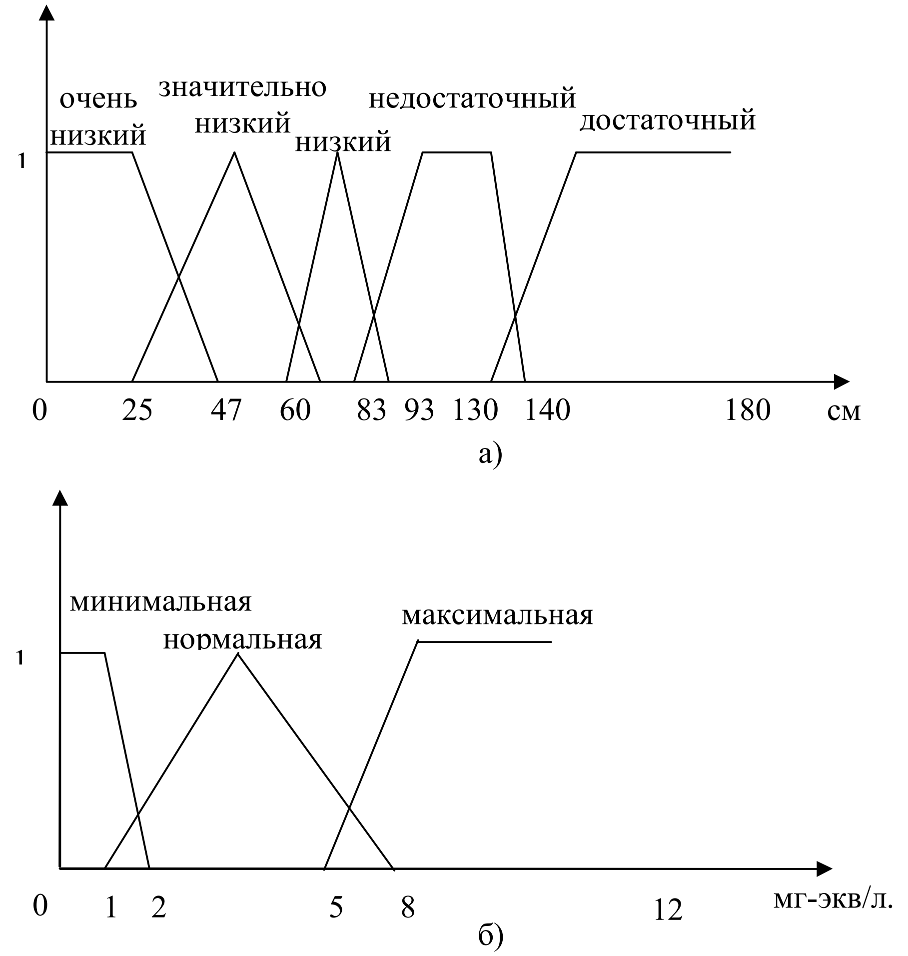


Рисунок 2 – Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной α (а) и лингвистической переменной σ (б)

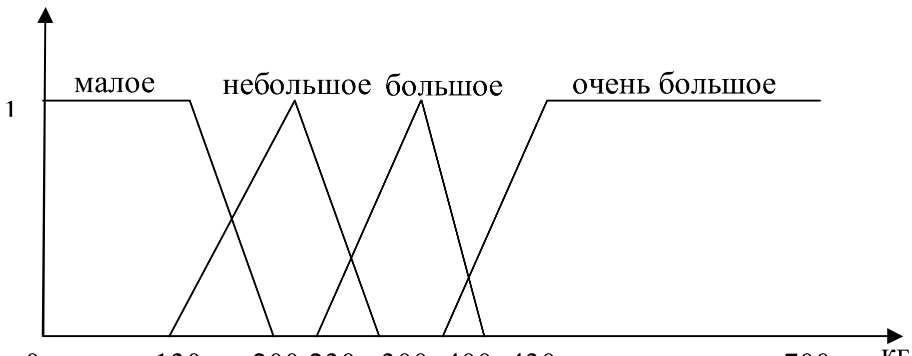


Рисунок 3 – График функций принадлежности для термов выходной лингвистической переменной β

На выходе блока нечеткого регулирования проводится преобразование переменной β в четкую величину y, определяющую объем засыпаемой соли в бак солерастворения, необходимый для получения насыщенного рассола, который используется для регенерации ионообменной смолы.

База правил системы нечеткого вывода представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных.

В данной задаче система нечеткого вывода будет содержать 9 правил нечетких продукций следующего вида:

1) ЕСЛИ α = «очень низкий», ТО β = «очень большое»;
2) ЕСЛИ α = «значительно низкий», ТО β = «большое»;
3) ЕСЛИ α = «низкий» и σ = «максимальная», ТО β = «большое»;
4) ЕСЛИ α = «низкий» и σ = «нормальная», ТО β = «небольшое»;
5) ЕСЛИ α = «низкий» и σ = «минимальная», ТО β = «небольшое»;
6) ЕСЛИ α = «недостаточный» и σ = «максимальная», ТО β = «небольшое»;
7) ЕСЛИ α = «недостаточный» и σ = «нормальная», ТО β = «малое»;
8) ЕСЛИ α = «недостаточный» и σ = «минимальная», ТО β = «малое»;
9) ЕСЛИ α = «достаточный», ТО β = «соль не засыпается».

Модель нечеткого управления (рис. 1) строится с учетом необходимости реализации всех этапов нечеткого вывода, а сам процесс вывода реализуется на основе наиболее распространенного алгоритма нечеткого вывода – алгоритма Мамдани.

Реализация алгоритма Мамдани включает в себя выполнение следующих этапов:

1. Фаззификацию входных переменных.
2. Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций (для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используется нечеткая конъюнкция).
3. Активизацию подзаключений в нечетких правилах. В данном случае применяется метод *min*-активизации

$$\mu'(x) = \min\{c_i, \mu(x)\},$$

где $\mu(x)$ – функция принадлежности терма, который является значением выходной переменной, заданной на универсуме X.

4. Аккумуляцию заключений нечетких правил продукций.
5. Дефаззификацию выходных переменных. Применяется метод центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x)dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x)dx},$$

где x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной;

$\mu(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной после этапа аккумуляции;

min и *max* – левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества выходной переменной.

Анализ работы разработанного алгоритма

Программная реализация алгоритма осуществлена в среде MATLAB. Содержащая специальные средства нечеткого моделирования, система MATLAB позволяет выполнять весь комплекс исследований по разработке и применению нечетких моделей. Задание лингвистических переменных и функций принадлежности их термов в графическом режиме, а также визуализация правил позволяют существенно уменьшить трудоемкость разработки нечеткой модели, снизить количество возможных ошибок и сократить общее время нечеткого моделирования.

С целью установления адекватности разработанного алгоритма нечеткого вывода был проведен анализ результатов нечеткого вывода при различных значениях входных переменных (табл. 1).

Таблица 1 – Анализ результатов нечеткого вывода

№ опыта	Входная переменная «Уровень нерастворенной соли»	Входная переменная «Жесткость воды»	Выходная переменная «Количество засыпаемой соли»	Засыпаемое количество соли
1	25	6	546	540
2	55	3	355	360
3	130	3	87,9	90
4	130	12	220	215
5	93	8	218	220
6	93	2	93	100
7	73	3	219	220
8	100	4	85,2	100
9	140	4	0	0
10	150	1	0	0

Незначительное отклонение результатов работы алгоритма от принятых оператором установки решений по засыпке соли подтверждает адекватность разработанной модели нечеткого управления.

Выводы

Таким образом, на основе изучения технологии и особенностей процесса, разработан алгоритм системы нечеткого управления процессом регенерации ионообменной смолы. Проведен численный анализ разработанного алгоритма модели с целью проверки его адекватности для различных вариантов значений входных переменных.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования модели и алгоритма управления с целью создания системы автоматизированного управления процессом регенерации ионообменной смолы в промышленных установках умягчения воды.

Литература

1. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
3. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / Круглов В.В. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.

О.М. Шушура, І.О. Тарасова, Ю.С. Лапшин

Нечітке управління процесом регенерації іонообмінної смоли в промислових установках зм’якшення води

У статті розглянута проблема нечіткого управління процесом регенерації іонообмінної смоли в промислових установках зм’якшення води. Наведене дослідження технології та особливостей процесу, розроблена модель системи нечіткого управління процесом, проведений чисельний аналіз розробленої моделі.

A. Shushura, I. Tarasova, Yu. Lapshin

Fuzzy Control of Ionite Metabolic Tar Regeneration Process in Industrial Sets for Water Softening

The article deals with the problem of ionite metabolic tar regeneration process in industrial sets for water softening. Study of technology and characteristics of the process has been done; a model of the system of unclear controlling the process has been developed; the numerical analysis of the developed model has been given. The results obtained can be used for creating the system of automated control of the ionite metabolic tar regeneration process in industrial sets for water softening.

Статья поступила в редакцию 10.03.2009.